第13章 全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響
的因應研究與調整方向 191-207, 1998

第十三章 全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向

楊純明 林俊義
臺灣省農業試驗所

摘要……192
壹、前言……192
貳、由古氣候學估測溫室效應及全球氣候變遷……193
參、溫室效應對氣候變遷的干擾……194
肆、全球氣候變遷對環境可能的影響……195
伍、因應研究與調整方向……197
陸、結語……202
柒、誌謝……203
捌、引用文獻……203
英文摘要……207

第十三章　全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向

楊純明　林俊義
臺灣省農業試驗所

摘　　要

在估計約五十億年的地球歷史過程中，氣候與環境係不斷的變遷，惟其轉變速率緩慢，概以千、萬年甚或百萬年計。然溯自19世紀工業革命以來，近兩百年間大量石化燃料被消耗，加上人造化學品的產製、人類各樣活動的釋放、及各種天然災變等，使大氣中充滿各種溫室效應氣體。這些氣體持續累積的結果，增強了溫室效應，促成地球的溫暖化，並改變了氣象的常態運轉與演變，而加速全球氣候的變遷。氣候變遷的影響層面廣大而深遠，無論是生物或非生物，凡無法及無能適應者均將遭鉅變甚至滅絕。當然氣候變遷將影響農作物的生產，農作物生產的異動相對的亦將反饋影響氣候，造成氣候的不穩定及更劇烈的變化。為期人類糧食的穩定供應，生活空間的長久維持，乃至於大地萬物的生生不息，吾人應當關切全球氣候的變遷。竭力探索、釐清溫室效應的因果，分析、歸納氣候變遷對生態與環境的作用，謀求因應對策、規劃適當調整方向，以降低農業(農作物)生產的負面衝擊。展望臺灣地區農業的未來發展情勢，無論係精緻農業、永續農業、休閒農業、及產銷均衡等任一主題，莫不與氣候變遷密切相關。本文即針對溫室效應的『因』，氣候加速變遷的『果』，以及『延伸』對農作物的生產影響，回顧文獻並提出個人見解，與識者做學識和經驗的交流(換)，並冀望有助於未來因應措施與策略之研擬，使我國農業得以永續經營與發展。

關鍵詞：氣候變遷，臺灣地區，農作物生產，因應對策，溫室效應，溫室效應氣體，永續農業。

壹、前　　言

在估計地球誕生迄今的約五十億年歷史裡，氣候的變遷不斷的發生，惟其轉變速率甚緩，概以千、萬年甚或百萬年計。然溯自工業革命以來，近兩百年間大量石化燃料被消耗，加上人造化學品的產製、人類各樣活動的釋放、及各種天然災變等，使大氣中充滿各種溫室效應氣體。這些氣體持續累積的結果，增強了溫室效應(greenhouse effect)，促成地球的溫暖化，並改變了氣象的常態運轉與演變，而加速全球氣候的變遷。氣候的變遷將影響農作物的生產，相對的農作物生產的異動亦將反饋影響氣候，造成氣候的不穩定及更劇烈的變化。為期人類糧食的穩定供應，生活空間的長久維持，

大地萬物的生生不息，吾人應當關心全球氣候的變遷，竭力瞭解溫室效應的因果，謀求因應對策以降低農業(農作物)生產受到的深遠影響。

推測在鉅變的氣候之下，天氣與氣候的型態將更不規律，氣象混亂及異常現象將更頻繁，農作物的生長與產量潛能將因整體氣候環境出現明顯不同而改變。因此，以農作物的生產系統而言，不僅水資源的開發與利用必須另謀配合，農作物特性與栽培制度亦需調整，所牽涉的各種生產過程均勢必重新考量，牽動的相關層面與影響無遠弗界。本文即針對溫室效應的『因』，氣候加速變遷的『果』，以及『延伸』對農作物的生產影響，回顧文獻並提出個人見解，與識者做學識和經驗的交流(換)。並冀望農政機關、農業試驗研究單位、及相關學術機構等儘速針對相關議(問)題詳加探討、深入研究，方能及時研擬因應對策，規劃適當的調整方向，永續臺灣地區農業的經營與發展。

貳、由古氣候學估測溫室效應及全球氣候變遷

由於人的壽命有限，無法經歷長期氣候的改變趨勢與起伏，尤其對於歷史長達近五十億年的地球變遷過程更是人生苦短，古氣候學研究因此應運而生期以鑑往知來。古氣候學的時間尺度常以千年、萬年乃至於百萬年計算單位，由記錄在地層、化石、冰層、樹輪、及珊瑚之中的演變, 如地層化學成份、化石組合的改變、冰層內氣體含量、樹木年輪寬窄、及珊瑚年紋化學成份等，作為古氣候的指標而去推測古氣候的變遷。雖然實際的古氣候內涵仍難因此完整重建，某些重要氣候因子或現象或生物，如全球總冰量、古氣溫與海溫、古大氣與海洋成份、古生物與生態等均得估測，而且某時段的氣候狀態及長期大氣候變化的時間序列亦得以模擬與推演。

有關溫室效應問題，可從南北兩極冰蕊來推算古氣溫及古大氣溫室效應氣體(如二氧化碳及甲烷)濃度推知。由於兩者呈現同步改變，顯然的溫室氣體若增加，氣溫必然上升，間接驗證溫室效應的更迭。據估計在上次冰期最盛期的二氧化碳濃度約為195 ppm，今日則約360 ppm，且當時氣溫比現在低2～6℃。再依據聯合國氣候變化政府間專家委員會(IPCC)1996年報告指出，人類活動所排放的溫室效應氣體若不採取防制措施，至2100年時全球平均地面氣溫將比1990年時上升1.0～3.5℃，海平面將上升0.15～0.95 m。所以，如果全球二氧化碳排放情況持續目前趨勢，二十一世紀中期以前地球暖化現象將十分明顯，在倍增的二氧化碳濃度下氣溫可能升高2～5℃(魏，1995)。此一模擬結果若成真，隱示冰川將融化、海平面將上升、水土將異動。雖然多數氣候模擬並未加入海洋環流對氣溫的遲滯效應，而且海洋與大氣的碳循環可能減緩大氣中二氧化碳的累積，倘仍無限制石化燃料的使用繼續大量二氧化碳及其他溫室效應氣體的釋放，地球溫暖化危機勢將難免，畢竟海洋及大氣對溫度(熱能)與二氧化碳的緩衝能力有其限度。

又從現今儀器記錄的氣象資料歷史(近130年)比較，發現地表平均氣溫確有上升趨勢。在地球生態系無顯著大變動前題之下，再經年累月的利用石化能源，併生物呼吸與人類活動、人為的森林砍伐與焚燒、及火山爆發不斷等因素，必將朝著堆積溫室效應氣體方向演進。所以，無論從古氣候學或現代科技的實際測定來看，溫室效應的確存在，難堪的是正處於日益惡化之中。相同的，氣候變遷的軌跡亦清晰可循，卻也逐年在加速進行，能不令人觸目驚心!

以模式分析溫室效應氣體未來的走向及對氣候變遷的干擾，是目前大氣科學界常用的研究方法。雖然不免受到人為經濟發展與科技進步和自然大氣系統與地殼運動等因素影響而異，但是現行多種分析結果均顯示(Dickinson and Cicerone，1986;

ICPP，1990; Lashof and Tirpak，1990)，在可預見的未來大氣中溫室效應氣體濃度的增加是無法避免的。謝(1997)的研究亦推估，臺灣地區將以二氧化碳為最主要的排放源，二氧化碳將是未來增加最快、排放量最大的溫室效應氣體，限量排放已是當務之急。

參、溫室效應對氣候變遷的干擾

氣候變遷是大尺度、長期性影響全球的氣候系統，不但影響區域及國家的政治社經結構，也造成全球共同面對世界性災難的現實問題(洪，1995)。溫室效應是牽動氣候變遷的主要因素之一，對氣候變遷的干擾是無庸置疑的。就國際現勢來看，短期內大幅降低溫室效應氣體是不可能的。但是為了追求文明的永續發展，無論開發或已開發國家均應強力管制溫室效應氣體，全力配合共謀保護全球氣候系統(柳，1995b)。

一、溫室效應的增強

大氣層是一氣、液、固相的混合體，充滿多種氣體分子、塵粒、及水汽等，組成元素眾多。在氣體分子方面，除了水分子，主要有氮、氧、氬、氖、氦、氪、氫、氙、臭氧、氡等分子及各種氣體化合物; 液體分子則以水汽為主(以雲、霧等現象存在)。這些氣體分子當中，二氧化碳(CO_2)、臭氧(O_3)、甲烷(CH_4)、氟氯碳化物(CFCs)、氧化亞氮(N_2O)及水蒸氣(H_2O)等均能吸收長波輻射能，宛如覆蓋一層玻璃罩於地表保持地表溫度，即所謂的溫室效應(楊，1995b)。然近百年來石化能源的大量使用，森林的大面積砍伐、焚燒，諸種人為活動大幅擴增二氧化碳的來源。另一方面，水田的開發、廢棄物發酵及工業活動等釋出甲烷，氮肥的浮濫施用逸釋出巨量氧化亞氮，傳統冷凍劑的使用揮發氟氯碳化物，火山爆發噴釋部份溫室效應氣體，種種人為及天然活動使得溫室效應氣體逐日累增。很不幸的這些氣體生命週期甚長(Houghton *et al.*，1992)，長期在大氣中累積的結果，遂增強了大氣層的溫室效應，直接的結果係造成地球的升溫現象，也間接的影響全球氣候的變化。

在大氣層中能夠吸收長波輻射能的所謂溫室效應氣體當中，以二氧化碳、臭氧、甲烷、氧化亞氮、及人為產生的氟氯碳化物最為重要。雖然大部份的溫室效應氣體的暖化作用皆大於二氧化碳，惟因大氣中的二氧化碳含量較高，其對溫室效應的影響也最大，且是目前科技水準最難解決者(柳等，1997)。百年來二氧化碳濃度直線增加，科學界雖以450 ppm為努力設定的目標，但仍遠超過植物光合作用所需及海洋吸收速率。

十九世紀工業革命前的二氧化碳濃度約為280 ppm，二十世紀初期則升高至約300 ppm，近年來的資料顯示全球平均已達360 ppm。Houghton *et al.* (1990)由南極冰柱估算，在近兩世紀期間二氧化碳濃度升高17%，而在過去16萬年之間全球平均氣溫約上升6℃，主要與二氧化碳及甲烷濃度的增加有關; 甲烷濃度在近130年間自0.8 ppm增加至1.8 ppm；另氧化亞氮在工業化以前約285 ppb，目前則為310 ppb，上升了8%。氟氯碳化物係由氟、氯、碳組成，生命週期可長達50年，各種類的氟氯碳化物在過去20年間增加非常迅速，經過國際間共同合作嚴格管制下，近幾年來已有下降趨勢，尤以CFC-11及CFC-12成效最佳。Hansen *et al.* (1989)推測，1980-1990年間大氣中的二氧化碳、氟氯碳化物、甲烷、及氧化亞氮等溫室效應氣體，對溫室效應的貢獻率各約為57、25、12、及6%，且每年分別以0.4、0.9、1.0、及0.25%速率增加。

大氣層中的臭氧濃度近年來已顯著減少，南北兩極上空的臭氧層也出現了明顯破洞。造成此現象的原因眾多，主要包括: (1)氮肥的施用: 經由土壤細菌的脫氮作用(denitrification)釋出氧化亞氮(N_2O)，再繼於同溫層在波長低於310 nm紫外線作用下結

合臭氧產生氧化氮(NO)及二氧化氮(NO_2)，致減少臭氧層厚度。(2)高空飛行器的飛航:當空氣中的氮及氧氣體遇到極高溫時(如飛機噴射引擎及火箭釋出的高熱)，將因化學作用產生氧化氮，故飛行及穿越於同溫層的飛行器勢將因氧化氮得大量產生而消耗鉅量的臭氧。(3)氟氯碳化物(chlorofluocarbons)或稱氟氯甲烷類(chlorofluoromethanes)化學品(如CCl_2F_2、CCl_3F)的使用，如上述五、六十年前冷凍劑被開發及使用，這些氣體釋出進入大氣後將在同溫層因光化學作用而消耗臭氧(楊，1998)。因臭氧可吸收太陽光照射至地球低於290 nm (UV-C)的紫外光，而減輕高能紫外光直射至地表對生物的可能危害，所以臭氧濃度的減少將增加地表的輻射量，一如溫室效應而使近地面氣溫升高。

二、氣候的變遷

溫室效應的增強，直接提高了氣溫。以臺灣地區的模擬為例，據柳等(1994)估計在2050年時氣溫上升約與全球同步，大概升高3～4℃，且於夏季較明顯。降水量與分佈也改變了，春季及冬季的降水以北部較多，中南部梅雨季的降水將減少，夏、秋季颱風路徑將更難預測，使得降雨量與變化無法準確估算。而且臺灣地區的季風型態及降雨分佈，一如全球各地的變化般，不僅不同以往且不易預估，因為大尺度環流系統已經改變。又豪雨出現頻率將會增加，無論是臺灣(柳，1995a)、美國(Bruce，1994)、日本(Takedo，1993)等，都有報告指出相同結果。

溫室效應造成的氣候變遷，整體而言將有歧異的降水頻率與分佈、經常發生的異常天氣(如風暴、雪暴、雨暴等)、頻繁的乾旱、不穩定的日照等氣候失序現象，並且不同緯度及地形將各有詭變的天氣與氣候(柳，1995a)。換言之，在增強的溫室效應下，氣候的改變並非漸進或緩慢的, 而係呈現震盪現象、整個氣象環境均發生混亂，無論係全球或局地氣候系統將更難找出定規律與常態。因此氣候變遷的嚴重性不在於發生前、後氣候之間的差異，乃因極端異常天氣或氣象現象帶來的災變及造成的損害。

肆、全球氣候變遷對環境可能的影響

氣候變遷對環境的影響，包括生物性的與非生物性的兩層面，但是對於引發的問題應該綜合氣候、人文、地理、乃至於社會與經濟層面總體考量，而且應該是全面的、整體的、國際的深入研究。限於篇幅，本文僅從局地氣候的失序、水質的優氧化、降水的酸化現象、生物圈與生態的改變、海洋與陸地的遷移、及紫外線輻射的增強等六方向探討及說明對農業生產環境的可能影響。

一、局地氣候的失序

一般言之，溫度的升高將使蒸發速率加快，夏天將更為乾熱，冬天卻變得潮濕；熱帶地域則更濕潤、副熱帶地域乾旱更嚴重；溫帶地域的冬季將縮短且較為溫暖，夏季則延長且更乾燥；高緯度地域的氣溫因南北極冰帽的融解流失，氣溫上升幅度較大。楊(1993)指出，氣候變遷將使降雨型態改變，可能也導致局地洪水氾濫或乾旱發生機率的升高。在臺灣地區，吳(1992)之分析報告顯示，過去90年來的全年氣溫有上升的趨勢，以5月及710月最顯著，且與降水趨勢一致，但是各地表現不一。柳等(1996)模擬資料後發現，臺灣地區的氣溫勢將上升，降雨變化尚不明確，而水汽蒸發量的增加及土壤溫度的下降將不利農業與森林生態系統的發展。

鉅變的天氣及異常氣候將不利農業生產，造成農作物巨額經濟損失，而各國因農耕制度及地理環境不同，發生的農業氣象災害種類及災情也不同。楊(1995a)年曾統計臺灣地區的農業氣象災害，依照農作物損失金額的排名，以颱風危害最大，依次為水患、乾旱、低溫、風害等。從1945年

至199 3年期間，估計損失值達新臺幣900百餘億元，每年平均損失約18億4千萬元。徐(1995)之調查結果發現，臺灣地區的農業天然災害有其不可預期性，所有農作物均會受災，災害地域全臺灣地區皆可能，而栽植面積愈大受災損失金額愈多。例如1988年8月14日前後臺灣中南部地區的豪雨引起的水患，造成的農林漁牧損失金額高達新臺幣35億3千萬元；另一場9月下旬的豪雨，則造成了東部地區近3億4千萬元的農漁業災情(謝等，1991)。因此臺灣地區內局地氣候的失序，對農作物造成的危害是可以預期的，非僅單一作物損失嚴重。農政機關當以積極的作為，加強局地天氣與氣候變化的探討，並對於農作物的損害和災變發生的預防及早謀求因應對策。

美國的異常氣候亦造成重大災情，耿及楊(1996)指出，1980年代世界各地之氣候與糧食生產均不穩定，且美國所遭遇的乾旱情形危害程度不亞於1930年代的塵暴害。Brown and Young (1988)的玉米調查資料亦顯示，美國自1980年以來因數度嚴重乾旱使玉米大幅減產，1983年損失17%，198 6年損失28%，1988年損失34%。吾人可從文獻資料輕易的找出更多類似報告，證明了局地氣候的失序對農業生產環境的破壞及對農作物的經濟損害。

二、水質的優氧化

自有人類文明以來，特別是工業革命之後，大量的原料被充分利用後轉變成廢棄物，甚至是毒性物質，然後被棄置於土壤、海洋中。這些未經適當再處理的廢棄物，最終將污染環境、破壞生態平衡。而當這些人造化學物質未經管制落入河川、湖泊、與大海時，水中有機成份(含氮、磷等有機物)的增加，將引起水質的優氧化(楊，1995b)，欠缺氧氣、充滿若干有機與無機化合物。優氧化的水質不僅危害水中生物，也不適於人類飲用及農耕灌溉，在全球暖化效應下，升高的水溫將使水質優氧化現象更劇烈。

三、降水的酸化現象

工商業發達的地區，通常各種污染物的排放也隨之增多，當酸性物質(如二氧化硫、氮氧化物、有機酸、氯離子等)結合大氣中的水汽即成為酸雨、酸霧等型式(蘇及楊，1995；U.S. National Research Council，1983)。酸化的降水對農、林、漁、牧各產業均有影響，對農田、林地、湖泊河川、及畜牧場等生產場所亦有潛在危害。以農作物而言，酸化的降水可直接由接觸的植體或間接經根系由土壤吸收，當離子濃度或酸度達一定水準或植體酸性離子累積量超過臨界值時，將出現明顯徵狀造成植株生長阻滯乃至死亡結果(蘇及楊，1995)。根據蘇及楊(1996)之試驗結果，以低於pH 3之人工模擬酸雨短期淋洗(每天40分鐘)，大豆(5天)及落花生(12天)植冠平均溫度將上升，大豆外觀並出現褐斑。

經過長期的酸化降水(酸雨)淋洗，當超過土壤對酸性物質的緩衝量臨界點之後，將不再適於農耕。酸雨影響土壤系統的化學組成，視酸雨的強度、持續性及土壤性質而定(王及劉，1996)。土壤藉其有機與無機膠體而具緩衝作用，包括鋁離子緩衝、矽酸鹽礦物緩衝、陽離子交換、陰離子固定、及有機緩衝等作用。劣質化的土壤對農作物生產的影響將更加嚴重，是屬於全面性的負面效應。有關不同類型土壤的酸性緩衝量，對農作物生長的影響機制，以及因應的解決措施，均待深入研究與模擬。

四、生物圈與生態的改變

氣候變遷必然改變陸生及水生生態系的狀態與分佈，自然也影響生物圈的消長與活動，各有正面和負面的影響(呂，1991)。由於冰雪覆蓋面積的減少，高緯度地域的溫暖化，農作物可能向這些地區發展。海平面上漲，陸地相對的下沉，陸地面積的減少連帶使得陸生與水生平衡遭受破壞。另一方面原本缺水的地區及草原、

沙漠等，面積卻將可能擴大，土地的沙漠化現象轉劇，增加不適農耕的土地(姜，1995)。這些對農地的正負效應相互抵銷下，結局難料。

升高的氣溫加長生長期，可能提高或降低水利用率；二氧化碳濃度的上升，則可能使植體變得大些，農作物肥料的需要量相對的增加。充分的肥料供應，加上良善的管理、日益精進的農業科技，在旺盛的光合作用下表面似乎有利農作物的生產。然而雜草的繁衍可能更為迅速，其他氣象環境未必能同步配合(如充足的光照、適當的溫度、合宜的濕度、無虞的水源灌溉等)，何況高二氧化碳伴隨高氣溫、低降水量(呂，1991)，各種農作物的反應不一，因此理想的境界恐未盡人意。又因植體碳氮比增加，對病蟲害將更為敏感，不利農作物生產 (United Nations Environmental Programme，1986)。若增施農藥，則恐將污染環境，危害其他無辜生物，得不償失。

根據地史證據，古氣候的鉅變經常伴隨生物的滅絕，生物量的急劇變化。相反的，由於生物與環境的環環相扣，某些物種的消滅或生物量的消長，可能將反饋造成氣候的顯著變化。當動物相及植被類型因氣候的變遷而被迫轉移時，不會移動的某些植物及遷移遲緩的動物，則可能受物競天擇而被淘汰。換言之生態的顛覆，可以預見某些生物將更能適應，某些物種(尤其是稀有及瀕危生物)則因無法調適新環境而退化甚至滅絕。

五、海洋與陸地的遷移

當氣溫上升空氣中的水蒸汽將增加，中高緯度的溫帶低氣壓活動將熱絡起來，原來多雨地區可能降水更多，乾燥地區可能更形乾旱。惟從全球觀點而言，地球暖化引起大氣中水汽的增量，將使總雨量增加。又溫度的上升使得海洋膨漲，冰帽及積雪融解亦可造成海平面升高，如此一來低窪地區會出現洪水氾濫，低海拔臨海地區或將被海水淹沒，喪失大片土地導致海陸間的遷移，人類將遭逢空前災難(柳，1995a;施，1994)。

冰河、冰山等的溶化，暴風雨的摧殘，水土受到的侵蝕將加劇，土壤的劣化也將加快。長期以來的山川地貌必將改觀，被削弱的地力將成為植物的生長障礙，動植物的食物鏈勢必瓦解，影響生物圈的動態平衡。姜(1995)指出，臺灣地區應特別重視氣候變遷對土地資源的衝擊，包括土地面積、土壤性質、及土壤肥力在內，尤其是極為嚴重的土壤沖蝕問題。臺灣地區為一海島地形，對氣候變遷所造成的海洋與陸地的遷移，反應將更加敏銳，結果也可能更為嚴重，必須及早因應。

六、紫外線輻射的增強

依照世界氣象組織(World Meteorological Organization)的區分標準，紫外線輻射依波長範圍可分為紫外線C (UV-C，100-280 nm)、紫外線B (UV-B，280-315 nm)、及紫外線A (UV-A，315-400 nm)三種。其中UV-B波段為臭氧之強吸收區間，當大氣中臭氧層因溫室效應氣體氟氯碳化物的作用或飛行器熱燃等的破壞日漸稀薄，將造成地表UV-B輻射的增強。在過去二、三十年間全球臭氧總量確已減少(Bojkov，1995；WTO，1994)，臺灣地區上空的臭氧亦觀測到有逐漸減少而紫外線輻射值有逐年增加趨勢(陳及張，1997)。紫外線輻射的增強，目前所知對動物的負面作用較多,對植物的效應則未臻清楚。

伍、因應研究與調整方向

『預防勝於防治』及『節約能源』觀念，是因應研究與調整方向的起始點與準則。當然，氣候變遷既為全民共同面對的問題，解決之道自然是全方位的。每一個人均應全力做環保，民間各產業必須推動能源節約實務，政府應該訂定適當法令規章，研究單位宜協助研擬因應策略，協力檢驗節約能源成效，共同預防溫室效應進

一步惡化。如此，緩和全球氣候變遷作法才有成效，減輕生態環境劣質化行動才能落實。本文將從(一)二氧化碳排放量的維持、(二)農田甲烷釋放的控制、(三)其他溫室效應氣體之管理、(四)水資源的開發與管理、及(五)農作物生產上之因應等五議題，以農作物生產立場分別說明：

一、二氧化碳排放量的減少

(一)臺灣地區二氧化碳排放現況

經濟成長與能源消耗是同步的，能源消耗則是二氧化碳的主要來源、環境污染的肇始者，自光復以來臺灣地區經濟的發展與能源的消耗量呈平行遞增趨勢。馬(1996)之報告顯示，目前國內能源消費結構為工業佔50%、運輸業佔17%、商業與民生用電佔16%、其他(含農業等)佔17%，相當符合產業現況分佈。1995年的年初級能源總供給量為7,915萬公秉油當量，佔能源總類中的54.1%；另有煤炭26.3%，核能發電11.1%，液化天然氣4.6%，水力發電2.8%，天然氣1.2%。除了核能及水力發電之外，其餘能源類別均會產生大量二氧化碳及若干溫室效應氣體(易，1996)。根據汪(1997)的估計，我國二氧化碳排放總量1990年時約為113百萬公噸，1995年時上升至166百萬公噸，2000年時將達206百萬公噸或以上。以此水準，已屬於二氧化碳高排放量國家，不遜於工業化大國。我國若想依照1992年的「氣候變化綱要公約」於2000年將二氧化碳排放量減至1990年的水準，就事實來講，幾乎不太可能。另據謝(1997)報告，利用IPCC準則所估算臺灣地區的1990年溫室效應氣體排放總量為149百萬噸二氧化碳當量，其中二氧化碳佔83%，甲烷佔15%，氧化亞氮佔2%，分居前三名，故為本文敘述重點。

(二)二氧化碳排放的管制

造成氣候變遷的主要原因溫室效應，大半係來自二氧化碳累積的結果，加上它的估算方法容易且具公信力，成為國際間減緩溫室效應的首要目標。惟就目前的能源供應與需求和相對應的經濟發展，無論國內、外，大幅削減大氣中二氧化碳濃度實不樂觀。然而嚴格的控制與管制，維持現階段全球的總排放量則是可行的，而且已在1997年日本京都舉行的世界性氣候談判會議(「氣候變化綱要公約(Framework Convention on Climate Change)」締約國第三次大會)上達成共識。如何才能控制二氧化碳的排放成長呢？其實並無秘方，關鍵在於開源和節流。一方面力行能源多元化政策、開發乾淨的能源(如太陽輻射、地熱、風力、生質能、潮汐落差位能等)，重整能源結構，發揮這些能源的使用功率與效益。再方面提高能源使用效率，降低對傳統石化燃料(如石油、煤碳、木柴等)的依賴，減少非必要的能源浪費，並嚴禁非法的廢棄物焚燒。尤其以工商業活動最需要管制，單單汽機車、航空飛行器及各式工廠的日常運轉製造的二氧化碳及其他氣體，就足以令人傷透腦筋。

早在1992年6月巴西里約熱內盧曾舉行了地球高峰會議，與會154國代表共同簽署了「氣候變化綱要公約(FCCC，Framework Convention on Climate Change)」，同意管制與規範全球性溫室效應問題及溫室效應氣體之減量，避免大氣系統再被進一步的破壞。此一綱要以全球共同合作以減少溫室氣體排放量為終極目標，截至1997年8月止，已有169個國家認可。據此，已開發國家公元2000年的二氧化碳排放量需降低至1990年的水準，海島聯盟國家2005年時再降至1990年的80%，歐盟於2010年前削減至1990年的85%(徐及王，1997)。1997年底的世界氣候會議所簽署的「京都議定書」，更決議工業化國家以2010年為目標年，各國排放之溫室效應氣體必須比1990年的水準平均削減5.2%。

倘若大氣中人為的溫室效應氣體濃度能夠因此穩定在不危及天氣系統的安全水平，則地球生態體系或能自然的自行調整而適應全球氣候的和緩變遷，農作物的生

產亦能維持糧食的需要。這些相關因應措施與作法牽涉層面甚廣，顯然的二氧化碳的減量不是單純的農業問題，必須集合產業界、政府、及全民力量齊一合作，而且是跨國界的共同努力、集思廣益。例如預期在2005年時50%二氧化碳排放量係來自於開發中國家，且以每年6%的速率持續增加，而已開發國家的年增率僅1%。顯示公約的成敗及效力的發揮乃取決於開發中國家的態度與執行程度，而經濟發展卻是其生存的必要,故成功與否仍難預料。

對農作物生產而言，並無二氧化碳排放問題，因為農作物的生產過程對二氧化碳為淨吸收，具有正面的減量功能。農作物以二氧化碳及水分子為材料，葉綠素為工廠，利用光能經過光合作用產製碳水化合物及乾物質，最終提供穀物果蔬等人類所需的糧食。在光合成過程當中，釋出副產物氧氣，因此同時具有淨化空氣品質的功能。所以，維持農田和保育林地一樣均能達到二氧化碳減量及更新氧氣的雙重作用，值得鼓勵與推廣。

二、農田甲烷釋放的控制

甲烷與二氧化碳同為主要溫室效應氣體，吸收長波輻射而蓄積熱能(Neue，1993)，因此大氣中甲烷濃度的起伏影響氣溫的增減。自工業革命後迄今，地球的溫暖化現象已因溫室效應氣體的升高而漸趨明顯(Houghton *et al.*，1992；Lin *et al.*，1993)。據Blake and Rowland (1988) 估計，若大氣甲烷濃度(目前約1.6 ppm)以每年1%速率增加，因其高倍吸熱潛能(約為二氧化碳30倍)，未來將對地球生態系造成難以估計的衝擊。因甲烷在熱能吸收上的特殊潛力，在碳的循環裡雖然濃度不如二氧化碳，仍應該特別注意甲烷的形成與減量。

雖然甲烷的主要釋放源尚未有定論，轉換機制多途徑，Watson *et al.* (1992)曾估算，大氣的甲烷來源自然形成約佔32%，人類活動約為68%；前者的70%由濕地產生，後者的22%由水田而來。因此除了畜牧業廢棄物之外，濕地及水田是生物性甲烷產生的重要來源，如何控制該等土壤微生物的活動以減緩甲烷的產生，將是重要問題(謝及王，1995)。在還原狀態(-150～-160 mV，pH 5.7)的嫌氣狀況下，土壤中的甲烷產生菌(methaneogenic bacteria)活動旺盛，極容易將土壤中的有機酸、氫氣、及二氧化碳等進一步還原為甲烷釋出(許及陳，1995)。臺灣地區的水田以水稻為主要栽培作物，以一、二期稻作面積約36萬公頃計，每年釋出的甲烷量相當可觀。

在國內的研究，鍾等(1995)試驗發現，土壤浸水後之氧化還原電位開始下降，若土面混施有機物(稻草)則下降速率加快；當氧化還原電位(Eox) 達-100 mV時，即可測得甲烷產生(做為電子傳遞鏈之接受者)，所以混施有機質之土壤產生較多量的甲烷。因此，鍾等建議增加土壤中的氧化物及實施水稻栽培前的曬田措施，以減少水田的甲烷產生。謝及王(1995)則指出，水田甲烷產生主要係微生物活動造成，期作與土質對甲烷產生影響似由微生物活性引起，甲烷釋出率與土溫、酸鹼值、氧位還原電位之關係不明顯。謝及王因此認為，(1)減少有機質施入水田、(2)增加曬田及延遲灌水、(3)選擇性施肥、及(4)選育低甲烷釋出稻種等四項，為降低水田甲烷釋出的有效對策。又為避免土壤Eox過度下降，調節水田入滲速度將有效果，對水稻產量也有幫助。

綜合前述，有關(1)土壤類別、(2)土壤氧化還原電位、酸鹼值、(3)土壤有機質與酸根(如硝酸根、硫酸根等)、(4)土壤微生物、(5)土壤元素種類與含量、(6)施肥種類與方法、及(7)水田灌水量與流程等(許及陳，1995)，均為值得探討、研究之項目，以尋求減少甲烷產生、釋出對策。此外，廢棄物亦為甲烷的主要來源，農業(農林漁牧)廢棄物也佔有一席之地。從收穫指數來估算，農作物的廢棄物常達50%以上，如前述如何善用這些廢棄物是一門重要學問，應予考量的因應對策之一。

三、其他溫室效應氣體之管理

在新一代冷凍劑開發使用後，工商業氟氯碳化物的使用已漸減少，大氣中的濃度也已下降。目前先進國家多已禁用此類化合物，國內環保署並定出使用限制，未來開發中國家若能配合，在全面禁用下將有助於減少臭氧層的進一步破壞和地球的暖化。特別在紫外線輻射方面，臭氧濃度的維持將避免UV-B輻射的增強，惟國內甚少專業人員從事紫外線輻射與作物生育關係研究，其因果關係及對病蟲害發生影響仍待探討。

氧化亞氮是另一項重要的溫室效應氣體，石化燃料的燃燒也會釋出，而大氣中30%的氧化亞氮是由水田與濕地(如沼澤、紅樹林)所逸釋，並與農作物生產所施用的肥料有關，其吸收輻射的能力約為二氧化碳的150倍(許及陳，1995；Bouwman *et al.*，1993；Eichner，1990；Pierzynski *et al.*，1994；Rodhe，1990；Whiting and Chanton，1992)。氧化亞氮在還原土壤中，主要是在脫氮作用(denitrification)過程中逸釋，其次為硝化作用(nitrification)，透過生物性及非生物性方式產生，無論水田及旱田均可測得。

水田、濕地的氧化亞氮釋放與土壤性質有關，尤以水分潛勢、有機物含量、及氧化還原電位為主，而施用氮肥將改變這些因子(許及陳，1995；Bouwman and Sombroek，1990；Pierzynski *et al.*，1994；Whiting and Chanton，1992)。由於施肥及高有機質有利於農作物的生長，卻也增加氧化亞氮及甲烷的釋放量，兩難間的取捨與調整是控制成功與否的關鍵。此外，灌溉的調節、浸水狀態的改進、及選用低氧化亞氮適出之有機肥與綠肥等，也是值得加以探究的因應措施。

四、水資源的開發與管理

由全球氣候變遷的趨勢，未來水資源的供應將更難掌握，相對的乾旱災害的發生頻率與地區範圍將愈加惡化。面臨降水的不均與不足，未雨綢繆之計惟有加強水資源的開發與管理，水源的儲存、水的利用、廢水的回收、水質的再生循環、乃至於水的利用效率等皆是重點，相關科技的研發是必要的。在農作物的生產系統上，無論是生產過程的灌溉、採收後的清理、及精緻農產品的加工製造層面，水的使用蹤跡無處不在。如何開發有限的水資源，並予精心的管理，配合水分利用效率的提高，以獲得最大效率與效益的水利用，將是二十一世紀人類尋求生存的重要課題。

五、農作物生產上之因應

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 的1996年報告指出，科學證據顯示氣候變遷主要由人為所引起，以人為方式減少溫室效應氣體的排放將能緩和溫室效應，有助於減弱氣候變遷速度(施，1996)。人為方式包括經濟的與非經濟的策略，傳統的與科技的方法，強制的與主動的手段，然均需要各產業相互配合與遵守。基本上農業對二氧化碳正面的減量功能高於負面的製造，尤以農作物光合作用的績效最為人知。面臨全球二氧化碳及其他溫室氣體的增加趨勢，農業上因應的可行之道甚多，雖視現況及可動用的資源而定，預防性的作為、前瞻性的整合科技、永續性的立場則是不變的原則。如此，減量成果方能突顯，績效才會持久。本文以農作物生產的觀點，參照現行農業科技的可行主張與作法，提出以下五項因應策略建議：

1. 維持適量農、林地面積，禁止森林濫伐，並加強植樹造林工作

由於植物可以吸收二氧化碳利用於光合產物的生成，同時釋出氧氣，因此農地及林地面積的維持非常重要。由於林地幾佔臺灣地區總面積的三分之二，以造林擴大植被覆蓋，將能維持二氧化碳與氧氣的進出平衡。先進國家對於森林採取計畫性砍伐，在截取林木的同時，也造林彌補空

白，態度頗為慎重、積極。部份開發中國家為開闢農地或增闢財源，常年焚燒其廣大森林或廉售林木，漫無規劃的剷除綠色植被，成為破壞林地生態、釋放二氧化碳的元兇之一。南美洲的森林大火和1997-1998年間的印尼霾害即為著名實例，數以百千公頃計的原始森林被無知的焚毀、濫伐。如何以國際制裁力量禁止此項不當土地開發行為，對抑制二氧化碳的爆增將有助益。再者，鼓勵與推廣栽植合適樹種開發森林資源更是積極主動的行動，可同時獲得環境保護及綠化美化雙重成效。

在民國四、五十年代，林木及木製品為臺灣地區主要的外銷農產品之一，外匯的重要來源。近年來造林成為林務單位的首要業務，在森林旅遊、環境綠化、及林地生態維護功能之外，對二氧化碳的減量亦具實效。相信植樹造林工作仍將持續執行，相對的森林火災應該嚴加防範。

2. 提高農作物的二氧化碳利用效率，促進二氧化碳的固定

此一作法牽涉農作物生產方式的調整及生理的代謝，宜採育種、栽培方法、耕作制度等配套措施通盤規劃，一舉增加二氧化碳的吸收與生質轉換效率。目的是以最低能量消耗來固定二氧化碳、推動光合產物的次級生產、及各種生質的轉換，發揮生質中二氧化碳的最大利用，使得二氧化碳在被植體重新釋放之前充分『做功』。另外，當妥善處理收穫物之外的殘留植體，如混入土壤增加有機肥、改良土質，或成為生質能源、研發其他用途。

當田間農作物的主要收穫物採收之後，剩餘的植體殘留物尚含有高百分比的碳素及其他成份，具有相當的利用及經濟價值，宜正確而妥善處理。以甘蔗言之，從碳素循環與利用的角度，常見的焚燒作法其實並不洽當。焚燒收穫當時的甘蔗植體固然可以燒除枯葉、雜草、及無關的廢棄物，降低蔗體含水量而提高蔗糖濃度，有利於隨後的工廠處理過程及壓榨作業。但是，焚燒不單純是釋放二氧化碳及消耗氧氣，尚可能產生多種毒害氣體，製造空氣污染問題。對於包括對人畜的健康、生態的危害、景觀的破壞、氣候的潛在干擾等影響深遠，難以評估。再者，煙霧將妨礙交通，也造成社會經常作息的不便，亦是負面的惡果。國內稻稈的焚燒是另一例，佔一半收穫指數的稻稈經過燃燒，相當於原來50%當季長期蓄積的二氧化碳在瞬間又釋放回大氣，從碳素固定效益來講是十分愚蠢的不智行為。

植體殘留物是可以多方利用的寶貝，當它被混入土壤中時，將是很好的有機質。當它在工廠中分解時，可以回收各種有用的成分。當它經過適當的處理，可以直接或轉製成為高經濟價值成品。關鍵在於再生與再利用技術的研發，充分應用碳素循環的多樣角色與功能。任何植物的植體組成份眾多，雖以水分、氮素、碳素、及礦物元素為主要，組合變化卻有萬千，當然有其萬千的妙用，而以焚燒的整體經濟效益最差。切忌以廢物心態焚燒殘留物，否則不僅釋出原已固定的二氧化碳，也消耗了氧氣，引起空氣與水源等污染。

3. 增進農作物對氣候變遷的適應力，降低氣候變遷帶來各層面潛在的衝擊

除了被動的設法減少溫室效應氣體的排放，減緩氣候變遷的努力以外，以育種或栽植環境改善來主動的增進農作物對外在環境改變的適應、競爭能力，亦為重要因應之道。農業是靠天吃飯的產業，去適應變遷的氣候也是一種方法，林(1995)謂『順應天道，生物賴以繁衍昌榮』。氣候變化與農作物產量之豐歉關係密切，作物的生產表現同時受到遺傳及環境因素控制，其中氣候因子又干擾其他環境狀況，左右作物遺傳組成的功能與顯現(朱，1976；楊，1995a)。在育種上，研究培育對於變遷的氣象環境及病蟲害抗性或耐性較強之農作物品種，或選擇較不易受災的農作物種類，均是可行的作法，可以繼續農作物生產。

未來可能的高二氧化碳及高氣溫，局地的淹水及乾旱，日夜或年溫差的加大，日射量的降低(蒸發散量增加導致雲量增多而日照通透量減少)，病蟲害敏感性的增高等，皆將伴隨氣候變遷而來，不利農作物的生產(林，1995)。由於局地狀況不同，針對當地未來狀況及潛在災害性天氣進行必要的育種或選種和栽培技術改進以提升適應力，將是氣候變遷下農作物存在與發展的主要方法。

在栽植環境改善上，如改良土壤質地與施肥方法、改進生產技術、提昇防災設備、改善灌排水系統、調整水保設施、及設置災變天候預警系統等積極措施，提供農作物較為穩定而良好的環境。高經濟價值作物的設施栽培亦為有效途徑，不僅避免災害的侵犯，更提供了作物較佳的生長條件，是以設施資材的研發與利用、設施結構的設計與改進、以及設施栽培介質與營養的使用及與管理等項目均需加強。如此以內在的育種及外在生長環境的改善雙重措施，將兼顧預防與防制兩項功用。由強化農作物對新環境的適應與競爭，而維持農作物的生產力，並避免或減輕部份植物的滅種危機，維護生物相的多樣化。

在病、蟲方面，作物病蟲害之發生、繁衍與流行也將因氣候變遷而改變(黃及蕭，1998；鄭，1998)，除了氣象環境之直接影響外，人為針對氣候變遷採取的各項措施亦可能造成間接影響病、蟲的蔓延和作物的罹病機制。由於局地氣候變化不一，病、蟲害的研究及對應措施將因地而異，其間的相互關聯性雖然複雜，因應的策略仍不外乎(1)作物抗、耐種選育，(2)綜合防治調整，(3)加強病、蟲族群之預測與預報，及(4)配合病、蟲生態演化研究等四大方向，知已知彼掌握防治先機。

4. 施行有機農業體系，永續農業的發展

農業生產過程難免釋出溫室效應氣體，以細心、耐心與愛心去經營管理，必可減少這些氣體的排放。實施有機農業栽培，多使用有機肥料、減少化學肥料，則土壤可維持高有機物含量，不僅將有利於土壤微生物的活動與平衡，也改善土壤性質，減輕土質的流失。更重要的，化學性氮肥的減量使得氧化亞氮逸釋減少，高地力土壤促進植體生長而增加二氧化碳固定，穩定而平衡的生態保存各種生物的生機。再者，『永續經營與發展』的新思維已獲得各界認同，整個國土資源的開發與利用也漸朝此方向進行。為使農業永續經營，將有必要維持適量的農地，採用永續性的方法與策略發展農業，實施有機農業體系是可行途徑之一。如何保護農地、執行農地農用、規劃農地釋出、及調整農業結構，則是另項必須因應與值得研究的議題，政府與全民應該共同來監督和執行。

5. 研發植物生質能源，替代高污染能源

先進國家如美國、日本等，已將『替代性低污染能源之研究與發展』列入未來能源政策之發展要點。植物性甲醇、乙醇、甲烷、氫氣等，均是深具潛力的開發項目。這些植物生質能源二氧化碳的釋放量低於傳統石化油品，且可作為運輸工具替代燃料，將可能成為能源明日之星。此一研發方向值得大力推動，其中轉換低碳生質能源成為高功率燃料及能量再生技術，將是成功與否亟待解決的兩項關鍵議題。除了石化及鋼鐵工廠，汽機車的龐大排放量一直是國內溫室效應氣體的主要來源之一，研發植物生質能源替代高污染石化能源確是一條光明之路。

陸、結　　語

近年來環保意識高漲，綠色潮流風起雲湧，對全球溫室效應及氣候變遷的關注日益密切。相較於歐美、鄰近日本及中國大陸等而言，臺灣地區對全球氣候變遷的研究起步甚晚，為了探究臺灣地區人文、地理、社會、經濟、產業等各層面可能受到的衝擊，國內學界及產業界等應積極力

求迎頭趕上。溫室效應氣體的減量將是首要目標，再生能源的開發利用及高能源效率技術的研發應用則為主要作為，惟有開源與節流齊步併行，才有機會真正減緩全球氣候的快速變遷。

由於氣候變遷具有連鎖作用，因此除了臺灣及週邊地區的改善，更需要聯合世界各國共同參與，整合各界攜手努力共謀避免全球氣候鉅變及因應興革之道。為了農業的永續，為了糧食的充分供應，針對全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究必須加強，以地區的特性、全球性的格局、及長時程的眼光實施調整策略。以往農業試驗研究並無全面而整體的規劃，遠不如先進國家的遠見與氣魄。在環境保護與生態維護體系當中，農業是唯一擁有產業的、生態的、環保的多種特質的產業，當然是最重要的一環。

從以『經濟導向』調整為以『永續型態發展』將是農業轉型的第一步，雖然短期間內農作物的生產成本或將增加、收益可能減少，但從長遠的生態觀點必然值得。針對本文議題，作者不僅再次強調對氣候變遷的預警與預防工作，同時也體認災後補救的重要性，然而這一切都需要長期的規劃、長遠的眼光、前瞻性的魄力。「有研究，才有策略」及「今天不做，明天一定後悔」的名言，將是見證歷史的最佳座右銘，農業是國家發展的基礎產業，振衰起蔽捨我其誰，共勉之。

柒、誌　謝

作者感謝行政院農業委員會提供本計畫(87科技-1.1-糧-08)經費，使本篇報告得以順利完成，並因此喚起國人對全球氣候變遷問題的重視。

捌、引用文獻

王銀波 劉黔蘭. 1996. 酸雨對農耕土壤的影響. 中華農業氣象 3:125-130.

朱良基. 1976. 氣候變化與農作物產量之預測. 科學農業 24(1-2):3-6.

汪雅康. 1997. 全球變遷之因應：產業發展政策之因應. p.96-105. 1997年4月23日邁向二十一世紀：全球變遷之衝擊與因應研討會論文集. 臺灣大學全球變遷中心及環境品質文教基金會出版，臺北市.

呂昌華.1991. 溫室效應問題(續). 世界環境 31:11-14.

易洪庭. 1996. 我國的能源政策方向. p.101-106. 環保特刊：1996年臺北國際環保暨能源展專刊. 經濟日報，臺北市.

林鴻淇. 1995. 臺灣農業生產對氣候變遷因應之道. p.57-63. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

吳明進. 1992. 臺灣的氣候變化：氣溫和降水. 大氣科學 20:295-318.

洪肇嘉. 1995. 國際間對氣候變遷衝擊之研究趨勢及我國之因應方向. p.1-16. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

姜善鑫. 1995. 氣候變遷對臺灣土地資源之影響及其因應. p.32-42. 1995年2月24-25日「全球氣候變遷對臺灣之影響與因應研究規劃研討會」論文資料. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明 王維強 吳明進. 1994. 臺灣地區未來氣候變遷之評估. 1994年3月18-19日臺灣地區氣候變遷因素及影響研討會. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明. 1995a.「全球氣候變遷對臺灣之影響與因應」初探. p.1-25. 1995年2月24-25日「全球氣候變遷對臺灣之影響與因應研究規劃研討會」論文資料. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明. 1995b.「臺灣地區全球氣候變遷研究之規劃與推動」期末報告. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明 吳明進 王維強. 1996. 全球暖化下臺灣氣候變遷預估：半經驗法. 中華民國環境保護學會會誌. 19:1-23.

柳中明 劉銘龍 張品青. 1997. 能源與二氧化碳排放減量. 全球變遷通訊 16:1-9.

施學銘. 1994. 全球海水面上升可能的衝擊與因應. 1994年3月18-19日臺灣地區氣候變遷因素及影響研討會. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

施學銘. 1996. 全球變遷對臺灣環境的影響與因應策略之探討. p.26-41. 1996年4月25日「全球氣候變遷與溫室氣體排放減量」座談會論文集，國立中山大學海洋地質與化學研究所，高雄市.

陳福來 張修武. 1997. 臺灣地區臭氧及紫外線觀測之資料分析. p.111-117. 天氣分析及預報研討會氣象論文集彙編. 中央氣象局，台北市.

許正一 陳尊賢. 1995. 影響濕地土壤釋放甲烷與氧化亞氮的因子. p.289-306. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

馬小康. 1996.「能源利用」之二氧化碳排放減量策略. p.106-115. 1996年4月25日「全球氣候變遷與溫室氣體排放減量」座談會論文集，國立中山大學海洋地質與化學研究所，高雄市.

徐源清. 1995. 臺灣地區農業天然災害損失及因應措施之探討. 臺灣農業 31(3):42-56.

徐光蓉 王塗發. 1997. 全球CO_2減量風潮中，台灣應如何因應? 全球變遷通訊 16:9-11.

耿旭 楊之遠. 1996. 全球氣候變遷對農業生產影響之評估. 中華農學會報 新 174:1-11.

黃益田 蕭淑芬. 1998. 全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略. p.59-71. 全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響及因應策略. 林俊義 楊純明 主編. 臺灣省農業試驗所，臺中縣.

楊日昌. 1993. 全球變遷與臺灣. p.3-4. 1993年3月10日「全球變遷與能源問題」研討會論文摘要，工業技術研究院能源與資源研究所，新竹縣.

楊純明. 1995a. 臺灣地區農業氣象災害(1945-1993)及因應之研究方向. 中華農業氣象 2:31-35.

楊純明. 1998. 氣象環境對農作物生育影響及遙測技術之介紹. p.105-144. 楊純明 主編，農業微氣象之觀測與資料處理. 中華農業氣象學會出版，臺中縣霧峰鄉.

楊盛行. 1995b. 氣候變遷與農業生產. p.65-83. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

鄭清煥. 1998. 全球氣候變遷對農作物蟲害發生影響及因應策略. p.73-85. 全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響及因應策略. 林俊義 楊純明 主編. 臺灣省農業試驗所，臺中縣.

謝志誠. 1997. 經濟大風暴前的寧靜「氣候變化綱要公約」的衝擊與省思. 全球變遷通訊 16:21-29.

謝雨生 鄭宜仲 曹崇聖. 1991. 臺灣農業天然災害損失之長期變遷趨勢. 臺灣農業 27(1):20-35.

謝學武 王銀波. 1995. 臺灣中部地區水稻田之甲烷釋放. p.101-116. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

鍾仁賜 張義宏 林家慶 黃山內 楊盛行. 1995. 水田土壤中甲烷的釋放. p.85-99. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

魏國彥. 1995. 從古氣候學觀點看全球變遷. 科學月刊 26(2):141-146.

蘇慕容 楊純明. 1995. 酸性濕沉降對農作物影響之探討. 中華農業氣象 2:47-52.

蘇慕容 楊純明. 1996. 輻射光譜及紅外線熱像檢測大豆及落花生對人工模擬酸雨之徵狀反應. 中華農業氣象 3:131-140.

Blake, D. R. and F. S. Rowland. 1988. Continuing worldwide increase in tropospheric methane. Science 239:1129-1131.

Bojkov, R. D. 1995. The Changing Ozone Layer. WMO Report.

Bouwman, A. F. and W. G. Sombroek. 1990. Inputs to climatic change by soil and agriculture related activities. p.15-30. *In* : Soils on a Warmer Earth. H. W. Scharpenseel, M. Schomaker and A. Ayoub, eds. Feb. 12-14, 1989. Proceedings of an International Workshop on Effects of Expected Climate Change on Soil Processes in the Tropics and Sub-tropics. Union Nations of Environmental Programme and International Society of Soil Science.

Bouwman, A. F., I. Fung, E. Matthews and J. John. 1993. Global analysis of the potential for N_2O production in natural soils. Global Biogeochem. Cycle 7:557-597.

Brown, L. R. and J. E. Young. 1988. Growing food in a warmer world. Watch. 1(6):31-35.

Bruce, J. P. 1994. Natural disaster reduction and global change. Bull. Amer. Meteorol. 75:1831-1835.

Dickinson, R. E. and R. J. Cicerone. 1986. Future global warming from atmospheric trace gases. Nature 319:109-115.

Eichner, M. J. 1990. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. J. Environ. Qual. 19:272-280.

Lin, S. C., E. Y. Hsie, S. McKeen and H. Lin. 1993. Effect of Anthropogenic aerosols on diurnal temperature range. p.348-382. *In*: Proceedings of International Conference on Regional Environment. & Climate Changes in East Asia. 30 Nov.-3 Dec., 1993. Global Change Center, Natl. Taiwan Univ., Taiwan.

Hansen, J., A. Lacis and F. Prather. 1989. Effect of chloroflurocarbon and other trace gases. J. Geophys. Res. 94:16417-16421.

Houghton, J. T., G. J. Jenkins and J. J. Ephraums. 1990. Climate Change. p.364. *In*: The IPCC Scientific Assesment. Intergovernmental Panel on Climate Change. UN Environmental Programme/World Meteorological Organization, Cambridge Univeristy Press, London.

Houghton, J. T., B. A. Callander and S. K. Varney. 1992. Climate Change. *In* : The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Meteorological Organization, Cambrideage Univ. Press., London.

IPCC. 1990. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge Univ. Press, London. 365pp.

Lashof, D. A. and D. A. Tirpak. 1990. Policy options for stabilizing global climate. Hemisphere Publ. Corp. 810pp.

Neue, H. U. 1993. Methane emission from rice field. BioScience 43:466-473.

Pierzynski, G. M., J. T. Sims and G. F. Vance. 1994. The atmosphere: global climate change and acid precipitation. p. 237-259. *In*: Soil and Environmental Quality. Lewis Publ., Boca Raton, RL, USA.

Rodhe, H. 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. Science 248:1217-1219.

Takedo, T. 1993. Remote sensing and heavy rainfall disasters. p.397-407. *In*: International Decade for Natural Disaster Reduction. Aichi/Nagoya Interna- tional Conference, Japan.

United Nations Environmental Programme. 1986. The Changing Atmosphere. p.8. UNEP Environmental Brief No. 1. Nairobi, Kenya.

U. S. National Research Council. 1983. Acid

Deposition. National Academy Press, Washington D. C. 719pp.

Whiting, G. J. and J. P. Chanton. 1992. Plant-dependent CH4 emission in a subarctic Canadian fen. Global Biogeochem. Cycle 6:225-231.

World Meteorological Organization. 1994. Scientific Assessment of Ozone Depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project. No.37. WMO Report.

Chapter 13 Research Strategies and Adjustment Directions for Crop Production in Taiwan Area in Response to Global Climate Change

Chwen-Ming Yang and Chien-Yih Lin
Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

ABSTRACT

During the estimated 5 billions history of the Earth in the past, changes of climate and environment were continously and progressively. The current concerns on the accelerating greenhouse effect were due mainly to man-made emission of various gases in the atmosphere, such as CO_2, CH_4, N_2O and CFCs, that can absorb longwave radiation. Such phenomenon becomes stronger and stronger since nineteen century, and is now recognized imposing a tremendous influence over the globe as a whole, including a larg e-scale global climate change and the numerous environmental consequences. The influence of climate change is overwhelmingly, extending to both biotic and nonbiotic factors. With regard to food supply, living space protection, and ecology integrity, many concerns are placed on problems in related to reducing greenhouse gases and assessing regional and global climate changes. In reviewing of literature, issues of how greenhouse effect intensify global climate change and how climate change affected crop production will be discussed in this paper. To mitigate impact and negative effects in mind, suggestions and comments will be given on research strategy and adjustment direction for crop production in Taiwan area in response to global climate change.

Key words: Climate change, Taiwan area, Crop production, Strategy and direction in response, Greenhouse effect, Greenhouse effect gases, Sustaining agriculture.